



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁶ : H01J 43/30		A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 95/03623
			(43) Date de publication internationale: 2 février 1995 (02.02.95)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR94/00901 (22) Date de dépôt international: 19 juillet 1994 (19.07.94) (30) Données relatives à la priorité: 93/09104 23 juillet 1993 (23.07.93) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): THOMSON-CSF [FR/FR]; 173, boulevard Hanssmann, F-75008 Paris (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): TOULLEC, Bernard [FR/FR]; Thomson-CSF SCPI, Boîte postale 329, 92402 Courbevoie Cédex (FR). POMMERET, Jean-Pierre [FR/FR]; Thomson-CSF SCPI, Boîte postale 329, F-92402 Courbevoie Cédex (FR). (74) Mandataire: THOMSON-CSF SCPI; Boîte postale 329, F-92402 Courbevoie Cédex (FR).		(81) Etats désignés: AU, CA, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée Avec rapport de recherche internationale.	

(54) Title: PHOTOMULTIPLIER GAIN CONTROL METHOD

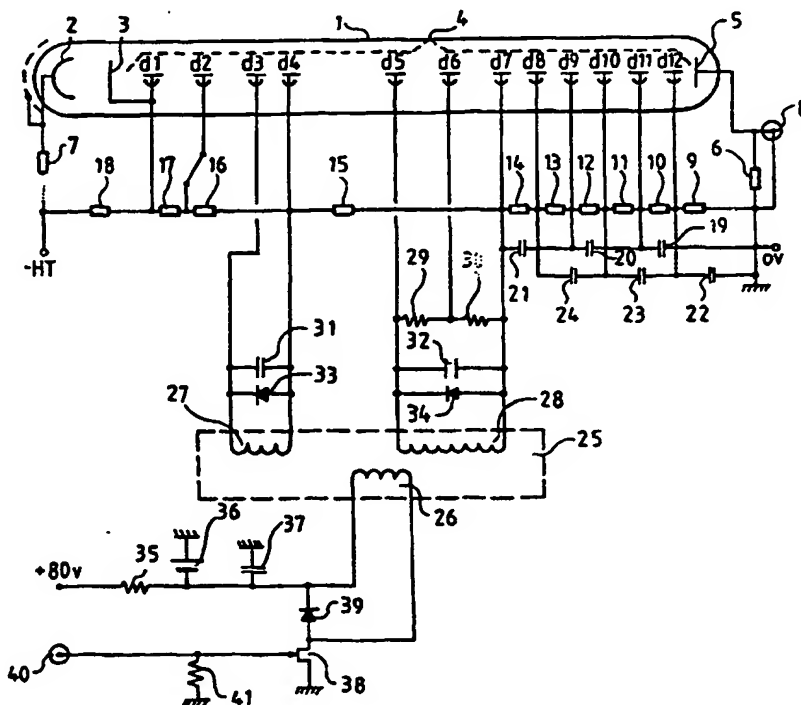
(54) Titre: PROCEDE DE COMMANDE DU GAIN D'UN TUBE PHOTOMULTIPLICATEUR

(57) Abstract

Methods for linear photomultiplier gain control over a large dynamic range are disclosed. The central dynodes (d3 - d7) of the photomultiplier (1) are powered via a very wide pass-band, low-damping transformer (25) which is in turn powered by a voltage ramp from a bias circuit (35-41) with a field-effect transistor (38) used in the variable resistance region thereof, whereby linear detection of light echoes from laser flash backscattering in a marine environment may be achieved.

(57) Abrégé

L'invention concerne les procédés permettant de commander le gain des tubes photomultiplicateurs de manière linéaire sur une très grande dynamique. Elle consiste à alimenter les dynodes centrales (d3 - d7) de ce tube (1) par l'intermédiaire d'un transformateur (25) à très large bande passante et faiblement amorti. Ce transformateur est lui-même alimenté par une rampe de tension obtenue par un circuit de polarisation (35-41) comportant un transistor à effet de champ (38) utilisé dans sa zone de résistance variable. Elle permet de détecter de façon linéaire les échos lumineux provenant de la rétrodiffusion d'un flash laser par le milieu marin.



UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	GB	Royaume-Uni	MR	Mauritanie
AU	Australie	GE	Géorgie	MW	Malawi
BB	Barbade	GN	Guinée	NE	Niger
BE	Belgique	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BF	Burkina Faso	HU	Hongrie	NO	Norvège
BG	Bulgarie	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BJ	Bénin	IT	Italie	PL	Pologne
BR	Brésil	JP	Japon	PT	Portugal
BY	Bélarus	KE	Kenya	RO	Roumanie
CA	Canada	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CF	République centrafricaine	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CG	Congo	KR	République de Corée	SE	Suède
CH	Suisse	KZ	Kazakhstan	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slovaquie
CM	Cameroon	LK	Sri Lanka	SN	Sénégal
CN	Chine	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CS	Tchécoslovaquie	LV	Lettonie	TG	Togo
CZ	République tchèque	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DE	Allemagne	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
DK	Danemark	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	US	Etats-Unis d'Amérique
FI	Finlande	MN	Mongolie	UZ	Ouzbékistan
FR	France			VN	Viet Nam
GA	Gabon				

PROCEDE DE COMMANDE DU GAIN D'UN TUBE PHOTOMULTIPLICATEUR

5

La présente invention concerne les procédés qui permettent de commander le gain des tubes photomultiplicateurs afin notamment de pouvoir détecter un signal optique présentant une très grande variation d'intensité en un temps très bref.

En dépit des progrès des détecteurs à l'état solide, les tubes photomultiplicateurs sont toujours utilisés pour détecter des signaux lumineux de faible intensité et/ou présentant des variations rapides dans le temps. C'est en particulier le cas pour les signaux optiques issus de la rétrodiffusion des signaux lasers émis vers la surface de la mer pour repérer les objets divers situés à l'intérieur de la masse marine. Compte tenu de l'absorption importante de l'eau, les signaux lasers généralement utilisés proviennent surtout de lasers pulsés émettant des impulsions intenses de durée très courte. Ces impulsions sont réfléchies ou rétrodiffusées vers un récepteur optique et l'intensité des signaux en retour varie fortement depuis une valeur importante correspondant à la réflexion directe sur l'interface air/eau jusqu'à une valeur très faible correspondant à la rétrodiffusion limite à la profondeur maximale atteinte. Dans la pratique, et en fonction des différents paramètres comprenant en particulier la turbidité de l'eau, la dynamique de ce signal optique peut excéder 100 dB en moins de 150 nanosecondes. Le tube photomultiplicateur généralement utilisé dans la pratique pour détecter ces impulsions lumineuses peut être polarisé soit pour ne pas être ébloui par l'éclat de la réflexion sur la surface air/eau (gain faible), soit pour détecter le très faible signal correspondant à la portée limite de l'impulsion laser (gain fort). S'il est polarisé pour ne pas être ébloui, il ne pourra pas détecter les signaux les plus faibles, et s'il est polarisé pour détecter ceux-ci il sera ébloui par la réflexion en surface. Il est donc nécessaire si on veut utiliser un seul tube pour obtenir la détection sur toute la portée du faisceau laser de faire varier le gain du tube pendant la durée de réception de l'impulsion de préférence sur une dynamique approchant le plus possible celle de l'impulsion réfléchie.

Les tubes photomultiplicateurs modernes sont justement conçus pour que l'on puisse modifier leur gain par commutation de tension sur une ou plusieurs grilles spécialisées. L'utilisation de ces grilles ne permet toutefois d'obtenir une dynamique que de l'ordre de 20 dB, ce qui est
5 relativement faible. En outre, cette technique de modification de gain du tube entraîne une variation du temps de transit des électrons à l'intérieur du tube, ce qui est rédhibitoire dans certaines applications où l'on est amené à mesurer une différence de temps entre deux signaux, notamment celle citée plus haut.

10 Une autre technique connue pour faire varier le gain du tube photomultiplicateur consiste à relier les dynodes impaires et paires respectivement à deux réseaux de résistances de polarisation et à ajouter une tension de décalage de quelques dizaines de volts (30 par exemple) par rapport à la tension minimale de fonctionnement, pour réduire le gain du
15 tube. En appliquant des impulsions de -30 volts sur le réseau de dynodes paires par l'intermédiaire d'un ensemble de condensateurs, on peut alors commuter le gain d'une valeur minimale à la valeur nominale pour laquelle est prévue le tube. Toutefois cette technique entraîne un temps de réaction à la commutation qui peut dépasser la centaine de microsecondes, en raison
20 de la forte valeur d'impédance du réseau de polarisation ainsi que la forte tension d'alimentation utilisée. Ce temps de réaction est tout à fait prohibitif pour les applications vues plus haut.

On a également envisagé d'autres techniques dérivées de ces deux techniques principales, mais elle concernent toutes une commutation
25 de gain d'une valeur minimale à la valeur nominale avec un temps de commutation supérieur à la ms.

Pour pallier ces inconvénients, l'invention propose un procédé de commande du gain d'un tube photomultiplicateur pour obtenir une réponse linéaire sur une dynamique très importante pendant une durée très courte et
30 sans faire varier sensiblement le temps de transit des électrons à l'intérieur de ce tube, caractérisé en ce que l'on polarise certaines des dynodes intermédiaires d3 - d7 du tube 1 par l'intermédiaire d'un transformateur 25 à très large bande passante et faiblement amorti ; ce transformateur étant lui-même alimenté par une rampe de courant sensiblement linéaire et les autres
35 dynodes étant polarisées par un réseau résistif 9 - 18 connu.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la description suivante, présentée à titre d'exemple non limitatif en regard de la figure unique annexée qui représente une vue schématique d'un tube photomultiplicateur et des circuits de polarisation qui
5 lui sont associés pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention.

Sur la figure 1 on a représenté une coupe schématique d'un tube photomultiplicateur 1 comportant une photocatode 2 destinée à recevoir les signaux lumineux pour émettre en réponse un flux d'électrons. Ces électrons sont focalisés par une grille de focalisation 3 vers un ensemble 4 de
10 dynodes d1 à d12. De manière bien connue, chaque électron qui frappe une dynode vient provoquer l'émission de plusieurs électrons secondaires qui sont dirigés vers la dynode suivante, où cet effet multiplicateur se reproduit, et ainsi de suite. Le flux d'électrons ainsi multipliés sortant de la dernière dynode d12 arrive sur une anode 5 en provoquant dans la connexion de
15 sortie de cette anode un courant relativement intense eu égard aux quelques électrons émis par la photocatode 2. Cette connexion de sortie de l'anode est reliée à la masse par intermédiaire d'une résistance 6, de 1 k Ω par exemple. Cette masse correspond au pôle positif d'une source de haute tension, 2000 volts par exemple, dont le pôle négatif est relié à la
20 photocatode 2 par l'intermédiaire d'une résistance 7, de 4,7 M Ω par exemple. Le courant qui circule dans la résistance 6 provoque une chute de tension aux bornes de celle-ci et cette chute de tension est appliquée à un connecteur de sortie 8 sur lequel on recueille le signal électrique correspondant au signal lumineux arrivant sur la photocatode 2. Pour
25 pouvoir détecter des signaux lumineux de durée très courte, correspondant donc à des impulsions électriques très courtes sur la sortie 7, l'ensemble est prévu pour fonctionner en hyperfréquence et cette sortie est coaxiale.

Pour obtenir l'effet d'amplification électronique souhaité, les différentes dynodes doivent être polarisées par un jeu de tensions
30 échelonnées entre la tension de l'anode et celle de la photocatode. Ces tensions sont obtenues de manière classique par un réseau de polarisation conforme aux spécifications du fabricant et alimenté par la source de haute tension. Dans cet exemple, correspondant à un tube Philips du type XP2233, on utilise un ensemble de résistances 9 à 18 reliées en série entre
35 la masse et le pôle négatif de la source de haute tension. Ces résistances

4.

ont par exemple comme valeurs respectives 220 k Ω , 200 k Ω , 130 k Ω , 120 k Ω , 100 k Ω , 82 k Ω , 356 k Ω , 136 k Ω , 68 k Ω et 390 k Ω .

En outre, pour agir comme réservoir d'énergie, on connecte aux bornes des résistances 9 à 14, selon le schéma représenté sur la figure, des condensateurs 19 à 24 ayant respectivement comme valeurs par exemple 4,7 nF, 3,3 nF, 1 nF, 10 nF, 3,3 nF et 1,1 nF.

Selon l'invention cette polarisation des dynodes à l'aide de ce réseau de résistances ne concerne que les dynodes d1, d2, d4, et d7 à d12. Les dynodes d3, d5 et d6, ainsi qu'en partie les dynodes d4 et d7, sont polarisées séparément par l'intermédiaire d'un transformateur 25 décrit ci-dessous.

Ce transformateur, qui est à très large bande et faiblement amorti, comprend un enroulement primaire 26 et 2 enroulements secondaires 27 et 28.

Les deux bornes de sortie du premier enroulement secondaire 27 sont reliées respectivement aux dynodes d3 et d4. On rappelle que la dynode d4 est elle-même reliée au réseau de polarisation.

Les deux bornes du deuxième enroulement secondaire 28 sont reliées respectivement aux dynodes d5 et d7 ; la dynode d7 étant elle-même reliée au réseau de polarisation. Ces deux bornes sont en outre reliées entre elles par deux résistances 29 et 30, de valeurs égales à 68 kohms par exemple, reliées en séries pour former un pont dont le point central est relié à la dynode d6.

Pour filtrer les tensions ainsi appliquées à ces dynodes par les enroulements secondaires et éviter les surtensions, ces enroulements sont shuntés par des condensateurs 31 et 32, de valeur 47 pF par exemple, et par des diodes 33 et 34, du type 11 DF 04 par exemple.

L'enroulement primaire 26 est alimenté par une tension de polarisation, de +80 volts par exemple, filtrée par une résistance 35, de 10 Ω par exemple, et deux condensateurs 36 et 37, de 22 microfarads et 0,1 microfarad par exemple, reliés à la masse. L'autre extrémité de cet enroulement primaire est relié au drain d'un transistor à effet de champ 38, du type IRF 530 par exemple, dont la source est reliée à la masse. Cet enroulement primaire est en outre shunté par une diode de roue libre 39, du type 11 DF 04 par exemple.

Les signaux de commande du transistor 38 sont appliqués sur sa grille depuis une entrée 40, du type coaxial par exemple. Cette grille est également reliée à la masse par une résistance 41, de 200 ohms par exemple.

- 5 La tension de commande appliquée sur l'entrée 40 vient faire varier la conductance du transistor 38 qui, compte tenu des valeurs des éléments et des tensions, est utilisée dans sa zone de résistance variable. Cette tension de commande se présente sous la forme d'une rampe de tension variant de 0 V à 6 V pendant la durée prévue pour la variation du gain souhaité pour le photomultiplicateur 1, c'est-à-dire la période de temps
10 prévue pour détecter le signal lumineux correspondant dans l'exemple décrit à la rétrodiffusion du flash laser.

- Dans ces conditions, sous l'effet de cette rampe de tension la résistance du transistor 38 diminue linéairement et provoque une variation
15 de courant dans le primaire 26 du transformateur 25, ce qui amène des variations de tension sur les enroulements secondaires 27 et 28, qui sont transmises aux dynodes d3 à d7. Les modifications de différence de potentiel au niveau de ces dynodes par rapport à la répartition normalement obtenue par le réseau de polarisation introduisent des variations de gain
20 locales qui permettent de faire varier de manière continue le gain du tube photomultiplicateur depuis une valeur minimale jusqu'à la valeur nominale. Cette variation peut atteindre une valeur supérieure à 90 dB sur une durée qui peut descendre à une valeur aussi petite que 50 ns. En outre cette variation de gain n'entraîne pas de variation notable du temps de transit des
25 électrons dans le tube photomultiplicateur et permet donc de respecter l'échelle des temps du signal lumineux reçu et de procéder à des mesures correctes de durées.

- En résumé ce montage permet parfaitement de mesurer des signaux lumineux de très grande dynamique, supérieure à 90dB par
30 exemple, sur des durées très courtes, 50 ns par exemple. Il est parfaitement adapté en particulier à la détection des échos lumineux provenant de la rétrodiffusion d'une impulsion laser envoyée sur une surface liquide, par exemple la surface de la mer, pour sonder la masse liquide qui s'étend sous cette surface et détecter les objets immergés sur les fonds marins.

REVENDICATIONS

1. Procédé de commande du gain d'un tube photomultiplicateur
5 pour obtenir une réponse linéaire sur une dynamique très importante pendant une durée très courte et sans faire varier sensiblement le temps de transit des électrons à l'intérieur de ce tube, caractérisé en ce que l'on polarise certaines des dynodes intermédiaires (d3 - d7) du tube (1) par l'intermédiaire d'un transformateur (25) à très large bande passante et
10 faiblement amorti; ce transformateur étant lui-même alimenté par une rampe de courant sensiblement linéaire et les autres dynodes étant polarisées par un réseau résistif (9 - 18) connu.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on utilise un transformateur comportant un enroulement primaire (26) alimenté
15 par la rampe de courant et deux enroulements secondaires (27, 28) destinés à polariser séparément deux groupes de dynodes intermédiaires.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le tube photomultiplicateur comporte 12 dynodes repérées respectivement d1 à d12, réparties entre une photocathode (2) et une anode (8) avec la dynode d1
20 située du côté de la photocathode, et que l'on polarise avec le premier enroulement secondaire (27) les dynodes d3 et d4 et avec le deuxième enroulement secondaire (28) les dynodes d5 à d7.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'on relie en outre les dynodes d4 et d7 au réseau résistif (9-18) et que l'on
25 polarise la dynode d6 par un pont résistif (23, 30) relié aux bornes du deuxième enroulement secondaire (28).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'on alimente le transformateur par un transistor à effet de champ (38) utilisé dans sa zone de variation de résistance.

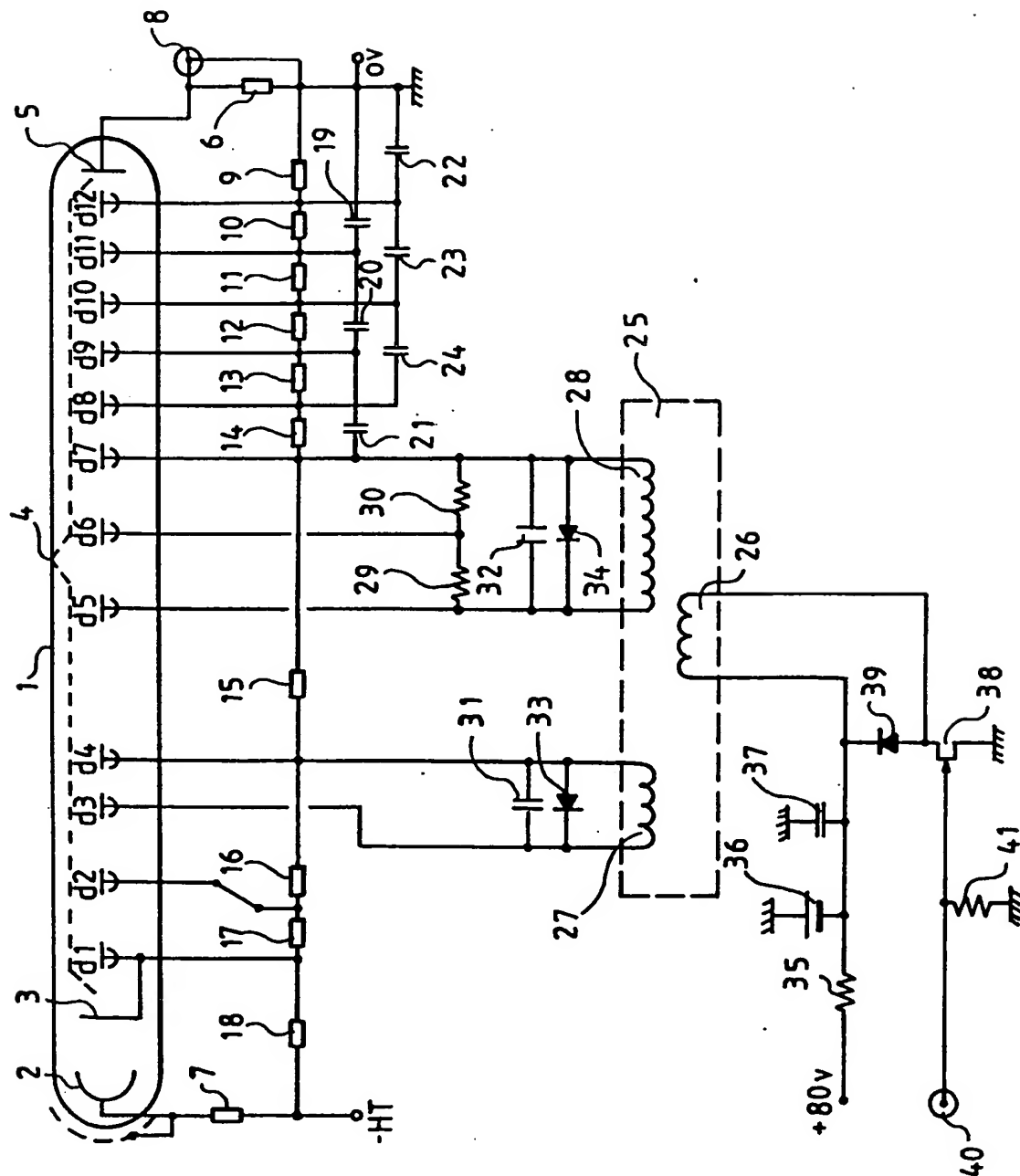


FIG. 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/FR 94/00901

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 H01J43/30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 H01J G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US,A,5 051 572 (JOSEPH ET AL.) 24 September 1991 see abstract; figures see column 11, line 5 - line 50 ---	1-4
A	US,A,4 820 914 (ALLEN) 11 April 1989 see abstract; figures ---	1
A	US,A,3 557 373 (HESS) 19 January 1971 see abstract -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "A" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 October 1994

Date of mailing of the international search report

21. 10. 94

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/FR 94/00901

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-5051572	24-09-91	NONE	
US-A-4820914	11-04-89	NONE	
US-A-3557373	19-01-71	CH-A- 482201	30-11-69
		DE-A- 1623420	16-06-71
		FR-A- 1570331	06-06-69
		GB-A- 1222677	17-02-71
		NL-A- 6808534	30-12-68

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No.

PCT/FR 94/00901

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 6 H01J43/30

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 H01J G01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US,A,5 051 572 (JOSEPH ET AL.) 24 Septembre 1991 voir abrégé; figures voir colonne 11, ligne 5 - ligne 50	1-4
A	US,A,4 820 914 (ALLEN) 11 Avril 1989 voir abrégé; figures	1
A	US,A,3 557 373 (HESS) 19 Janvier 1971 voir abrégé	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "I" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

18 Octobre 1994

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

21.10.94

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Schaub, G

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No.

PCT/FR 94/00901

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US-A-5051572	24-09-91	AUCUN	
US-A-4820914	11-04-89	AUCUN	
US-A-3557373	19-01-71	CH-A- 482201	30-11-69
		DE-A- 1623420	16-06-71
		FR-A- 1570331	06-06-69
		GB-A- 1222677	17-02-71
		NL-A- 6808534	30-12-68